

PREDIKSI NILAI *FIXED CARBON* SEBAGAI VARIABEL DALAM KUALITAS BATUBARA DENGAN METODA *ORDINARY POINT KRIGING* MENGGUNAKAN APLIKASI R

FIXED CARBON ESTIMATION AS VARIABLES IN COAL QUALITY BY MEANS ORDINARY POINT KRIGING METHOD USING R PROGRAMMING

Budi Nurani Ruchjana¹, Annisa Nur Falah¹, Endang Rusyaman¹, dan Nur Hamid²

¹Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Padjadjaran

²Departemen Geologi, Fakultas Teknik Geologi Sekolah Tinggi Teknologi Mineral Indonesia
budi.nurani@unpad.ac.id

ABSTRAK

Data spasial adalah data yang diperoleh dari hasil pengukuran yang berisi informasi tentang lokasi, umumnya berdasarkan peta yang berisikan interpretasi dan proyeksi seluruh fenomena yang berada di bumi. Metoda *Ordinary Point Kriging* adalah salah satu metoda yang dapat digunakan untuk analisis data spasial dalam Geostatistika yang digunakan untuk mengestimasi nilai dari sebuah titik di lokasi tidak tersampel sebagai kombinasi linear dari nilai contoh yang terdapat di sekitar titik yang akan diestimasi. Bobot kriging diperoleh dari hasil variansi estimasi minimum menggunakan semivariogram sebagai input. Untuk studi kasus penerapan Metoda *Ordinary Point Kriging*, digunakan data karbon tertambat (*fixed carbon*) sebagai variabel kualitas batubara dari hasil uji laboratorium di PT Bumi Merapi yang menunjukkan bahwa kualitas batubara berada dalam peringkat *Lignite*. *Fixed carbon* menyatakan banyaknya karbon yang terdapat dalam material sisa setelah zat terbang (*volatile matter*) dihilangkan. Nilai *fixed carbon* sangat mempengaruhi kualitas suatu batubara, karena semakin tinggi nilai *fixed carbon* maka kualitas batubara semakin meningkat. Proses perhitungan estimasi *fixed carbon* di lokasi yang tidak tersampel menggunakan Metoda *Ordinary Point Kriging* dapat diselesaikan dengan *package* *gstat* pada Aplikasi R, dan memberikan nilai hasil estimasi mendekati nilai data sampel. Oleh karena itu, perhitungan Metoda *Ordinary Point Kriging* menggunakan aplikasi R memberikan perhitungan yang lebih mudah, cepat, dan akurat.

Kata kunci: *Ordinary Point Kriging*, *Fixed Carbon*, Aplikasi R, estimasi, lokasi yang tidak tersampel

ABSTRACT

Spatial data is a type of measurement data with location information, based on maps which contain interpretations and projections of all earth phenomena. Ordinary Point Kriging method can be used for spatial data analysis in Geostatistics. It is used to estimate the value of a point in an unobserved location as a linear combination of sample values found around the point to be estimated. Kriging quality is obtained from the results of the minimum estimation variance using semivariogram as input. As a case study, fixed carbon data are used as a variable of coal quality from the results of laboratory test at PT Bumi Merapi which indicates Lignite. Fixed carbon represents the amount of carbon in residual material after the volatile matter is removed. Coal quality increases as increasing Fixed Carbon. Fixed carbon estimation in unobserved locations using the Ordinary Point Kriging Method can be solved by package gstat on R programming, resulting in an estimated values close to the value of the sampled data. Therefore, calculations on Ordinary Point Kriging Method using the R programming provide easier, faster, and more accurate estimation.

Keywords: *Ordinary Point Kriging*, *Fixed Carbon*, *R Programming*, estimation, unobserved location

PENDAHULUAN

Geostatistika merupakan perpaduan ilmu pertambangan, geologi, matematika, dan statistika yang awalnya dikembangkan dalam industri mineral untuk menaksir cadangan-cadangan mineral yang ada di bumi (Cressie, 1993). Dalam Geostatistika sering kali digunakan Pengali Lagrange untuk menentukan nilai maksimum atau nilai minimum dari suatu fungsi yang memiliki kendala (Varberg, et. al., 2007). Kegunaan Pengali Lagrange pada bidang Geostatistika tersebut salah satunya digunakan untuk meminimumkan variansi estimasi pada Metoda estimasi di lokasi tidak tersampel, atau yang dikenal dengan Metoda Kriging (Olea, 1999). Metoda Kriging terdiri dari beberapa macam, yaitu: Metoda *Ordinary Point Kriging* dan Metoda *Ordinary Block Kriging* yang mengasumsikan rata-rata tidak diketahui, Metoda *Simple Kriging* yang mengasumsikan rata-rata diketahui dan konstan, Metoda *Universal Kriging* yang mengasumsikan rata-rata diketahui dan tidak konstan, dan Metoda *Co-Kriging* yang merupakan gabungan dari dua atau lebih Metoda Kriging (Ruchjana, dkk. 2017). Metoda *Ordinary Point Kriging* telah digunakan dalam estimasi polutan pada dataran banjir sungai Meuse (Falah, et al., 2017a). Hasil estimasi dengan Metoda *Ordinary Point Kriging* telah dibuat konturnya dengan proyeksi ke *google map* (Gunawan, et al., 2016). Estimasi polutan tersebut dikembangkan dengan menggunakan Metoda *Universal Kriging* (Falah, et al., 2017b). Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, pada penelitian ini dibahas kegunaan Metoda *Ordinary Point Kriging* pada tambang batubara (*coal mine*). Para peneliti telah menggunakan Metoda Kriging pada tambang batubara, salah satunya digunakan untuk manajemen risiko pada industri batubara (Srivastava, 2013), kemudian digunakan untuk estimasi kualitas batubara (Ertunc, 2013). Selain itu Metoda Kriging digunakan pula untuk mengestimasi ketebalan lapisan batubara (Youkuo, et al., 2015) dan untuk

mengestimasi kuat geser batuan pada tambang batubara (Hamid, 2017).

Batubara terbentuk dari bahan organik seperti jejak kulit pohon, daun, akar, struktur kayu, spora, polen, damar, dan lain-lain. Proses pembusukan bahan organik tersebut menyebabkan perubahan baik sifat fisik maupun kimia pada waktu sebelum atau sesudah tertutup oleh endapan lainnya (Tirasonjaya dalam www.geologinesia.com, 2016).

Kualitas dari setiap endapan batubara ditentukan oleh suhu dan tekanan serta lamanya waktu pembentukan. Batubara terbentuk melalui dua tahap mulai dari proses penggabungan yang merupakan tahap biokimia, dan dilanjutkan dengan proses pematubaraan yang merupakan tahap geokimia. Proses pematubaraan terjadi pada rawa yang selalu tergenang air (kisaran kedalaman 0,5 – 10 meter) dengan kondisi reduksi dan sistem pengeringan yang buruk (www.geologinesia.com, 2016).

Indonesia merupakan negara yang kaya dengan sumber daya alam, termasuk batubara. Menurut data Badan Geologi, cadangan batubara saat ini mencapai 39,89 miliar ton. Namun cadangan tersebut masih tergolong kecil di tingkat dunia karena masih di kisaran rata-rata 3%-4% cadangan dunia (Kementerian ESDM dalam <https://www.cnbcindonesia.com>, 2019). Batubara dalam suatu tambang terbuka umumnya mencakup wilayah yang cukup luas dengan karakteristik spasial yang homogen. Cadangan batubara di Indonesia pada umumnya termasuk batubara peringkat rendah dengan kadar air total (air bawaan dan air total) yang mencapai 40%. (Arisandy, dkk., 2017).

Berbagai variabel yang memengaruhi kualitas batubara diantaranya adalah Zat terbang (*Volatile Matter*), Karbon Tertambat (*Fixed Carbon*), Kandungan Abu (*Ash Content*), Nilai Kalori (*Calorific Value*), dan kandungan sulfur total (*Total Sulphur*) (Schweinfurth, 2009). Variabel tersebut

diperoleh dari hasil analisis batubara dalam basis ADB (*Air Dried Basis*). Pada kondisi ADB ini *Free Moisture* tidak diikutsertakan.

Volatile matter adalah senyawa organik atau anorganik yang hilang saat batubara yang dihilangkan kandungan airnya dipanaskan pada suhu tinggi dalam waktu tertentu. Sedangkan *Calorific Value* merupakan panas yang dihasilkan, apabila batubara tersebut dibakar. Besaran nilai kalor batubara sangat ditentukan oleh jenis batubara (Arisandy, dkk., 2017). *Fixed carbon* digunakan sebagai indeks hasil kokas dari batubara pada waktu dikarbonisasikan, atau sebagai suatu ukuran material padat yang dapat dibakar di dalam peralatan pembakaran batubara setelah fraksi zat mudah menguap dihilangkan. Apabila *ash* telah dikoreksi, maka kandungan *Fixed Carbon* dapat dipakai sebagai indeks perankingan batubara dan parameter untuk mengklasifikasikan batubara.

Untuk menentukan kualitas batubara dilakukan analisis kimia pada batubara yang diantaranya berupa analisis proksimat dan analisis ultimat. Analisis proksimat dilakukan untuk menentukan *moisture*, *volatile matter*, *fixed carbon* dan *ash*, sedangkan analisis ultimat dilakukan untuk menentukan kandungan unsur kimia pada batubara seperti: karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, unsur tambahan dan juga unsur jarang (www.geologinesia.com, 2016).

Uji parameter batubara dapat menggunakan analisis dalam berbagai basis analisis yang terdiri dari DMMF (*Dried Mineral Matter Free basis*), DAF (*Dry Ash Free basis*), Db (*Dry Basis*), AD (*Air Dried Basis*), dan AR (*As Received basis*) (Arisandy, dkk., 2017).

Peringkat (*rank*) dan derajat batubara ditentukan berdasarkan proses perubahan atau genesa batubara. Peringkat batubara meningkat seiring proses pembentukan batubara, dimana peningkatan peringkat ini akan meningkatkan kandungan *fixed carbon*. Peringkat batubara secara umum

mulai dari peringkat rendah ke peringkat tertinggi adalah *lignite*, batubara *sub-bituminous*, batubara *bituminous* dan *anthracite*. Secara umum berdasarkan kandungan carbon dan oksigen, klasifikasi batubara dapat diuraikan sebagai berikut:

- Gambut (*Peat*), yang merupakan cikal bakal batubara, Carbon = 60% – 64% (dmmf), Oxygen = 30% (dmmf)
- *Lignite* atau batubara muda, Carbon = 64% – 75% (dmmf), Oxygen = 20% – 25% (dmmf)
- *Sub-bituminous*, Carbon = 75% – 83% (dmmf), Oxygen = 10% – 20% (dmmf)
- *Bituminous*, Carbon = 83% – 90% (dmmf), Oxygen = 5% – 15% (dmmf)
- *Semi-anthracite*, Carbon = 90% – 93% (dmmf), Oxygen = 2% – 4% (dmmf)
- *Anthracite*, Carbon = > 93% (www.geologinesia.com, 2016).

Batubara juga dapat diklasifikasikan berdasarkan *Gross Calorific Value (Gross CV)* dan *fixed carbon* seperti yang disajikan pada Gambar 3 (Schweinfurth, 2009).

Berdasarkan Gambar 3, tampak bahwa *fixed carbon* merupakan salah satu variabel yang sangat mempengaruhi kualitas batubara dan perlu diestimasi untuk lokasi yang tidak tersampel dalam suatu tambang batubara. Salah satu Metoda yang dapat digunakan untuk mengestimasi variabel-variabel yang memengaruhi kualitas batubara tersebut adalah Metoda *Ordinary Point Kriging* (Ertunc, et. al., 2013). Dalam penelitian ini diterapkan Metoda *Ordinary Point Kriging* untuk estimasi *fixed carbon* dalam tambang batubara melalui data hasil uji laboratorium di PT Bumi Merapi Barat Lahat Sumatera Selatan.

Perangkat lunak yang dapat digunakan dalam proses estimasi di lokasi tidak tersampel adalah Aplikasi R yang merupakan *software open source* dan menyediakan *package* gstat untuk estimasi dengan Metoda *Ordinary Point Kriging* (Bivand, et al., 2013).

Penelitian mengenai penerapan Metoda *Ordinary Point Kriging* pada kasus tambang batubara telah banyak dilakukan. Akan tetapi, belum banyak yang membahas mengenai estimasi kualitas batubara menggunakan Metoda *Ordinary Point Kriging* dengan perhitungan menggunakan Aplikasi R. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan estimasi *fixed carbon* dengan Metoda *Ordinary Point Kriging* menggunakan Aplikasi R.

TINJAUAN PUSTAKA

Semivariogram

Semivariogram adalah ukuran korelasi spasial dari observasi di lokasi-lokasi pengamatan yang berjarak *h* satuan jarak. Taksiran semivariogram eksperimental pada jarak *h*, dapat dituliskan sebagai berikut (Youkuo, et. al., 2015):

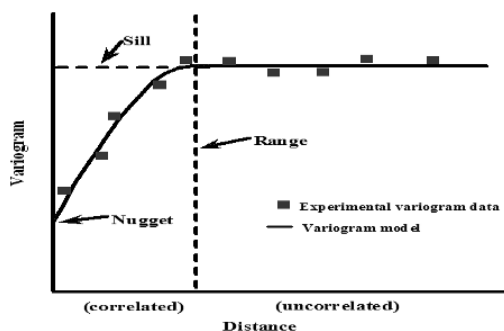
$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (1)$$

dengan:

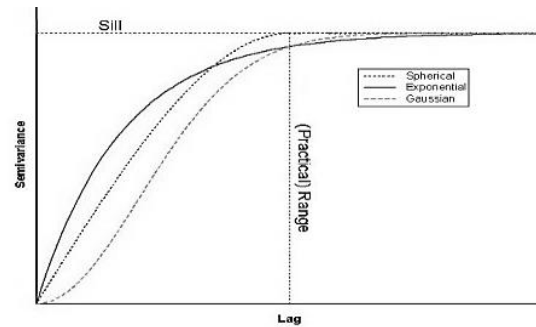
- $\hat{\gamma}(h)$: nilai semivariogram pada jarak *h*
- $Z(x_i)$: nilai pengamatan di lokasi x_i
- $Z(x_i + h)$: nilai pengamatan di lokasi $x_i + h$
- $N(h)$: banyaknya pasangan titik yang mempunyai jarak *h*
- h* : jarak antara 2 pengamatan

Pasangan jarak Euclidean *h* dihitung menggunakan persamaan berikut:

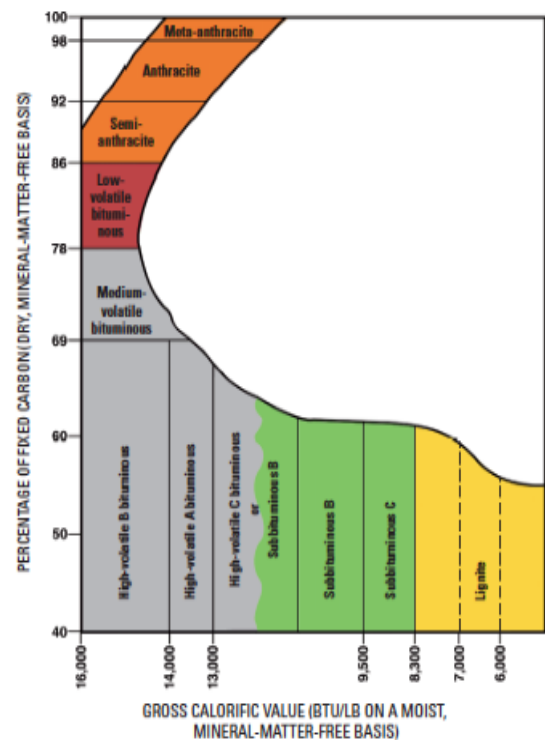
$$|h| = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (2)$$



Gambar 1. Grafik Semivariogram Eksperimental



Gambar 2. Model Semivariogram Teoretis



Gambar 3. Diagram Rank Batubara berdasarkan *Calorific Value* dan *Fixed Carbon* (Schweinfurth, 2009)

Model Semivariogram Teoretis

Model Semivariogram Teoretis yang paling umum digunakan ada 3, yaitu: Model Spherical, Model Gaussian dan Model Eksponensial (Youkuo, et al., 2015). Model teoretis tersebut dinyatakan sebagai berikut :

- Model Eksponensial

$$\gamma(h) = \begin{cases} c \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] & , \text{ untuk } h \leq a \\ c & , \text{ untuk } h > a \end{cases} \quad (3)$$

- Model Gaussian

$$\gamma(h) = \begin{cases} c \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right)^2 \right] & , \text{ untuk } h \leq a \\ c & , \text{ untuk } h > a \end{cases} \quad (4)$$

- Model Spherical

$$\gamma(h) = \begin{cases} c \left[\left(\frac{3h}{2a}\right) - \left(\frac{h^3}{2a^3}\right) \right] & , \text{ untuk } h \leq a \\ c & , \text{ untuk } h > a \end{cases} \quad (5)$$

Dengan menghitung *error* antara model semivariogram teoretis dan semivariogram eksperimental diperoleh model semivariogram terbaik, yaitu yang memiliki jumlah kuadrat error atau *Sum Square Error* (SSE) yang minimum. Selanjutnya parameter dari model semivariogram terbaik tersebut menjadi input dalam Metoda *Ordinary Point Kriging*, yaitu terdiri dari *sill* (variansi) dan *range* (daerah pengaruh). Dengan memasukkan kedua parameter tersebut, maka diperoleh bobot kriging untuk setiap lokasi yang tidak tersampel.

Plot ketiga model semivariogram teoretis yang sering digunakan tersebut disajikan pada Gambar 2. Model spherical dari titik awal sampai mencapai *sill* memiliki plot linear, sedangkan eksponensial berpola melengkung dan Gaussian mempunyai pola kuadratik.

Metoda *Ordinary Point Kriging*

Metoda *Ordinary Point Kriging* dapat digunakan untuk mengestimasi nilai dari sebuah titik sebagai kombinasi linier dari nilai sampel yang terdapat di sekitar titik yang akan diestimasi. Estimator kriging dapat diartikan sebagai variabel tidak bias dan mempunyai penjumlahan dari keseluruhan bobot adalah satu. Bobot inilah yang dipakai untuk mengestimasi nilai dari berbagai variabel penentu kualitas batubara.

Penaksir atau estimator *Ordinary Point Kriging* memiliki sifat:

- Linear
Berdasarkan Wackernagel (1994) estimator *Ordinary Point Kriging* untuk dua variabel yang diperoleh dari n observasi data yang digunakan membentuk model linear, yaitu:

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i [Z(x_i)] \quad (6)$$

- Tak bias (*unbiased*)

Berdasarkan Olea (1999) estimator *Ordinary Point Kriging* bersifat tak bias jika *mean* diasumsikan tidak diketahui dan $E[Z_1(x_i) - Z(x)] = 0$, sehingga sifat estimator tak bias terpenuhi oleh Metoda *Ordinary Point Kriging*.

$$\begin{aligned} E[Z(x) - Z(x)] &= E\left[\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) - Z(x)\right] \\ &= \sum_{i=1}^n \lambda_i E[Z_1(x_i) - Z(x)] \\ &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

- Variansi minimum (*Best*)

Pengertian *best* dalam hal ini adalah estimator *Ordinary Point Kriging* memiliki variansi minimum. Variansi estimator dari *Ordinary Point Kriging* dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sigma_{OK}^2 &= Var[Z(x) - Z(x)] \\ \sigma_{OK}^2 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j Cov[Z(x_i), Z(x_j)] + \\ &\quad \sigma^2 - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i Cov[Z(x_i), Z(x)] \end{aligned} \quad (8)$$

Untuk memperoleh nilai minimum dari variansi error digunakan Metoda Pengali Lagrange dengan parameter Pengali Lagrange μ_1 dan μ_2 , sehingga persamaan Pengali Lagrange dinyatakan sebagai berikut (Olea, 1999):

$$F(\lambda_i, \mu) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j Cov[Z(x_i), Z(x_j)] + \sigma^2 - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i Cov[Z(x_i), Z(x)] + 2\mu \left[\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right] \quad (9)$$

dengan menurunkan persamaan tersebut terhadap keempat variabel, akan dapat dibentuk matriks bobot kriging sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & \dots & C_{1n} & 1 \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & \dots & C_{2n} & 1 \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & \dots & C_{3n} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & C_{n3} & \dots & C_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} C_{10} \\ C_{20} \\ C_{30} \\ \vdots \\ C_{n0} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

dengan:

- C_{nm} : Matriks variansi kovariansi antara variabel tersampel pada lokasi n dengan variabel tersampel pada lokasi n
- C_{n0} : Vektor variansi kovariansi antara variabel tersampel pada lokasi n dengan variabel yang akan diestimasi di lokasi tidak tersampel
- μ : Parameter Pengali Lagrange

Selanjutnya diperoleh persamaan variansi estimator *Ordinary Point Kriging* sebagai berikut:

$$\sigma_e^2 = \sigma^2 - \sum_{i=1}^n \lambda_i Cov[Z(x_i), Z(x)] - \mu \quad (11)$$

Variansi estimator minimum tersebut biasa disebut dengan variansi estimator *Ordinary Kriging*, dengan demikian sifat best dimiliki oleh Metoda *Ordinary Kriging*.

METODA PENELITIAN

Tahapan Penggunaan Aplikasi R untuk Metoda *Ordinary Point Kriging* digambarkan melalui prosedur perhitungan

estimasi menggunakan Metoda *Ordinary Point Kriging* pada Aplikasi R dengan langkah-langkah sebagai berikut (Bivand, 2013):

- Aktivasi *package* yang digunakan *Package* yang digunakan dalam proses perhitungan Metoda *Ordinary Point Kriging* adalah *package* *gstat*, *package* *sp*, *package* *plot3D*.
- Input Data
Proses input data pada Aplikasi R terdapat 2 cara yaitu, input data set yang berasal dari Aplikasi R atau input data dari file lain. *Package* yang dapat digunakan untuk mempermudah input data dari file lain adalah *package* *Rcmdr*.
- Periksa Kestasioneran Data
Setelah input data, data tersebut diperiksa apakah stasioner atau tidak. Jika data tersebut stasioner dan univariat maka dapat digunakan Metoda *Ordinary Point Kriging*.
- Menghitung Semivariogram
Menghitung nilai Semivariogram Eksperimental diperlukan untuk data univariat. Hal ini digunakan sebagai acuan untuk memilih Model Semivariogram Teoretis dengan menggunakan *vgm*.
- *Fitting* Model Semivariogram Teoretis
Memilih Model Semivariogram Teoretis yang terbaik dapat dilakukan berdasarkan plot grafik dan SSE paling minimum. Fungsi untuk memilih model terbaik adalah *fit.variogram*.
- Estimasi dengan Metoda *Ordinary Point Kriging*
Model Teoretis yang terbaik dijadikan input dalam perhitungan Metoda *Ordinary Point Kriging*, fungsi untuk menghitung estimasi dan variansi estimasi yang minimum adalah fungsi *predict*.

PEMBAHASAN

Data Penelitian

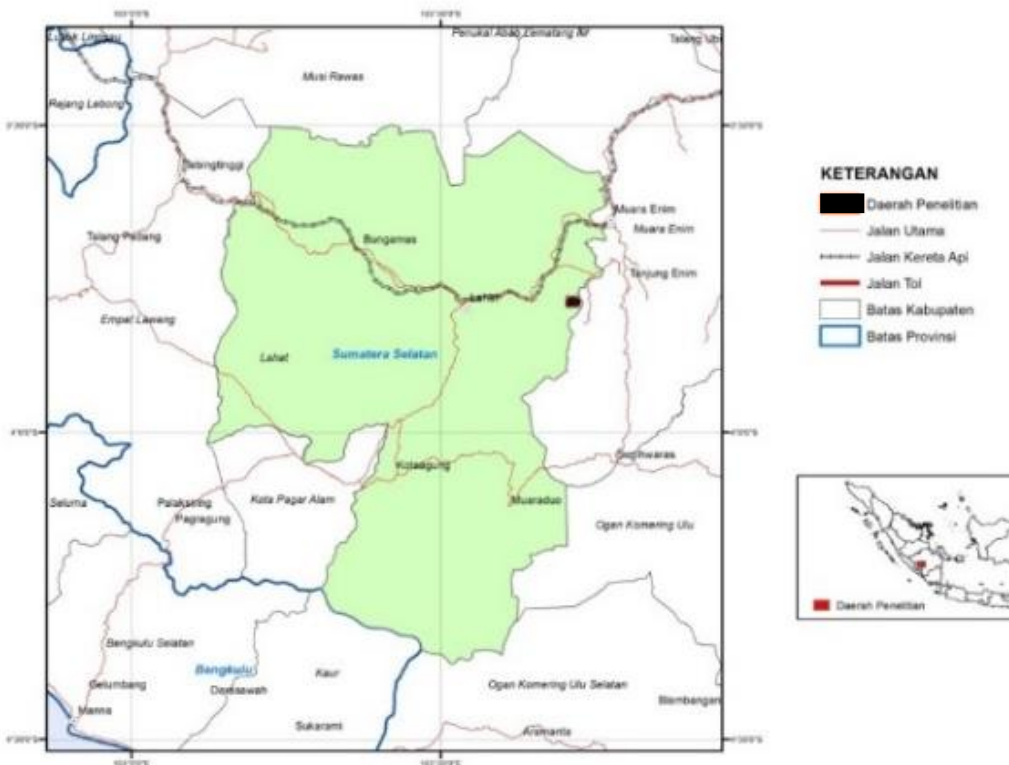
Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder hasil uji laboratorium di PT Bumi Merapi yang berada di Desa Kungkulan, Kecamatan Merapi, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan. Peta dari lokasi penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.

Lokasi penelitian berjarak sekitar 10 km dari Kota Lahat. Data yang diperoleh dari lokasi penelitian merupakan data hasil uji laboratorium batubara melalui analisis proksimat, sehingga diperoleh variabel-variabel penentu kualitas batubara, berupa *volatile matter* (%), *fixed carbon* (%), *ash content* (%), *calorific value* (cal/gr), dan *total sulphur* (%). Dalam penelitian ini dipilih salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap kualitas batubara, yaitu *fixed carbon*. Estimasi *fixed carbon* dilakukan dengan menggunakan Metoda *Ordinary Point Kriging*. Tabel 1 memperlihatkan data *fixed carbon* dalam

satuan % yang tersebar di 31 lokasi lubang bor dalam bidang 2 dimensi dengan koordinat x dan y dalam satuan meter. Untuk mengetahui ringkasan data tersebut digunakan fungsi `>summary(data)` pada Program R, hasilnya diperoleh statistika deskriptif seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Statistika deskriptif data kualitas batubara di lokasi penelitian berdasarkan kandungan minimum dari *fixed carbon* sebesar 43,20% dan maksimum sebesar 44,00% dengan rata-rata sebesar 43,46% serta rata-rata *calorific value* 6340 cal/gr menunjukkan bahwa batubara di daerah penelitian termasuk klasifikasi *lignite* sesuai dengan kriteria pada Gambar 3. Nilai koefisien variasi yang relatif kecil (0,01) menunjukkan bahwa data tersebut relatif tidak bervariasi.

Nilai rata-rata *Fixed Carbon* selanjutnya digunakan sebagai batas ukur, jika rata-rata hasil estimasi mendekati rata-rata data sampel maka hasil estimasi tersebut bersifat akurat.



Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian (Sumber: PT Bumi Merapi)

Tabel 1. Data *Fixed Carbon* (% adb) (Sumber: PT Bumi Merapi)

Lokasi	Lubang Bor	x (meter)	y (meter)	<i>Fixed Carbon</i> (%)
1	SR_01	350064.6	9579122	42.8
2	SR_02	349636.2	9578921	42.5
3	SR_03	349118.7	9578758	42.9
4	SR_04	348663.5	9578788	43.9
5	SR_05	348053.6	9579045	43.5
...
27	SR_27	345990.5	9579857	44.2
28	SR_28	347376.8	9579781	42.9
39	SR_29	348982.8	9578847	44.2
30	SR_30	349854.5	9579416	42.7
31	AR_30	350059.8	9578964	43

Tabel 2. Statistika Deskriptif Data *Fixed Carbon*

Statistics Descriptive	<i>Fixed Carbon</i> (%)
Minimum	43,20
1 st Quartil	43,43
Median	43,46
Mean	43,46
3 rd Quartil	43,48
Maximum	44,00
Variansi	0,3396989
Koef. Variansi	0,01341088

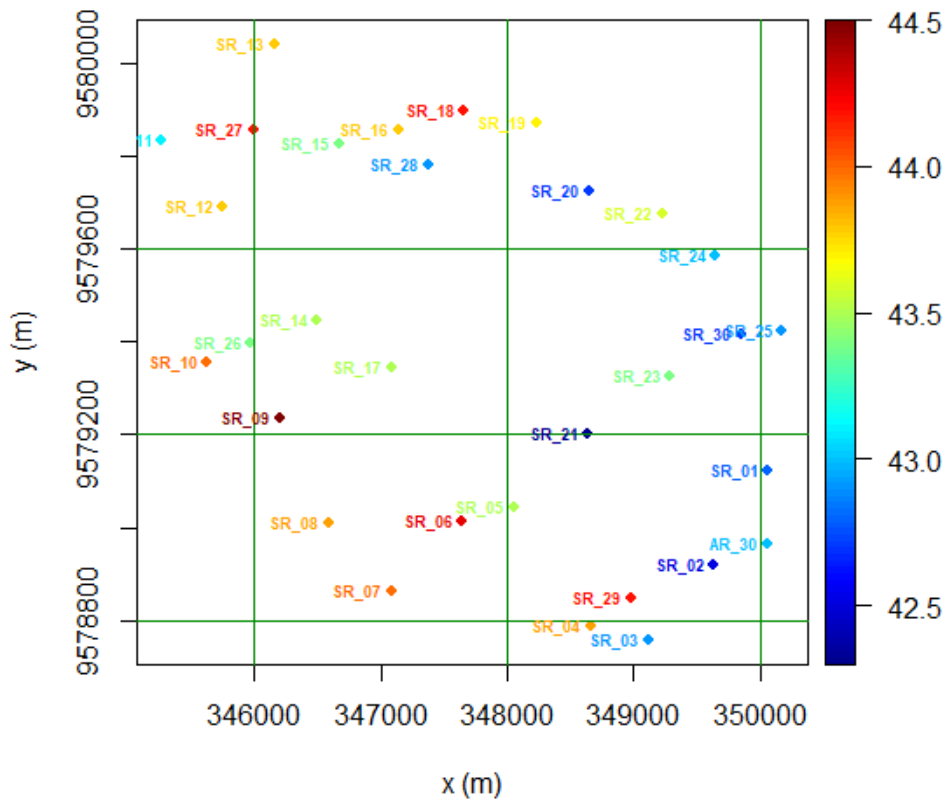
Berdasarkan Tabel 1 dibuat plot sebaran data *fixed carbon* pada 31 lokasi lubang bor terhadap lokasi koordinat x dan y seperti disajikan pada Gambar 5.

Untuk estimasi nilai *fixed carbon* di lokasi tidak tersampel menggunakan Metoda *Ordinary Point Kriging* diperlukan analisis struktural yang merupakan sebuah proses pencocokan semivariogram eksperimental dengan semivariogram teoretis. Nilai semivariogram eksperimental dihitung berdasarkan semua pasangan jarak yang mungkin dimana fungsi jarak yang digunakan adalah jarak *Euclidean*, sehingga diperoleh hasil seperti pada Tabel 3 dan membentuk plot semivariogram eksperimental yang ditunjukkan pada Gambar 6.

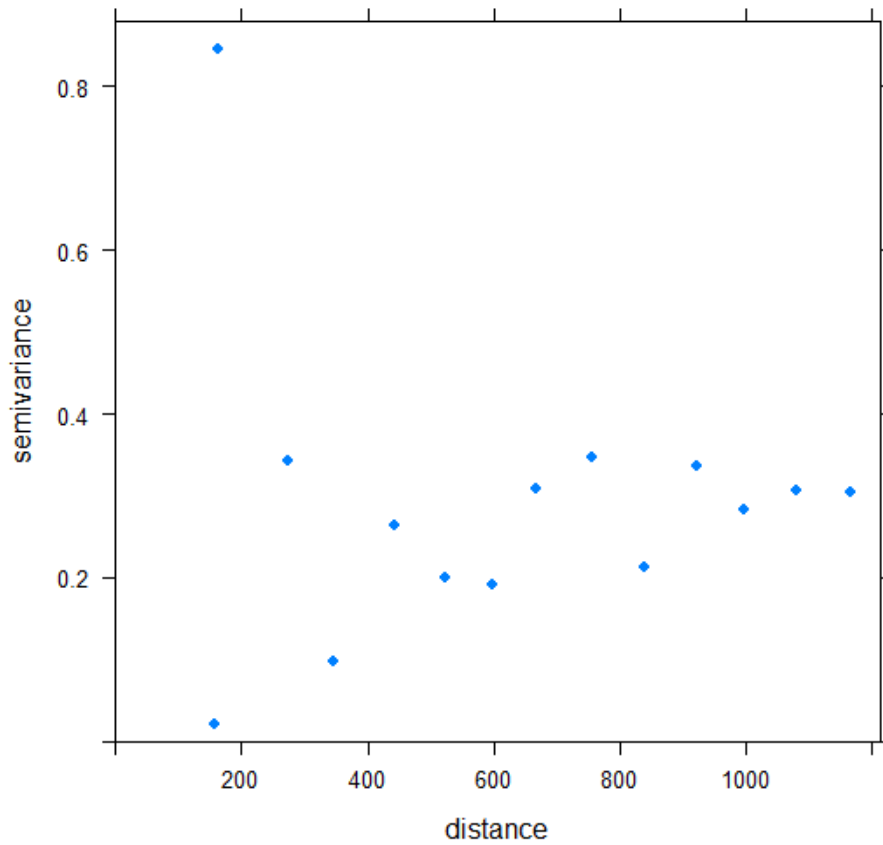
Tabel 3 di atas memperlihatkan bahwa pasangan data yang terbanyak adalah pasangan data yang memiliki jarak rata-rata sekitar 997,1352 m yang artinya bahwa kebanyakan titik-titik di lokasi tersampel yang menyebar pada tambang batubara memiliki jarak tersebut. Selanjutnya diperoleh plot rata-rata dari nilai semivariogram terhadap jaraknya

dimana semua informasi disintesa dalam satu titik per kelas jarak. Kemudian dapat dilakukan *fitting* model semivariogram eksperimental dengan semivariogram teoretisnya.

Berdasarkan Gambar 6 plot semivariogram eksperimental dijadikan sebagai grafik acuan untuk menentukan model semivariogram teoretis yang terbaik dan paling sesuai dengan plot semivariogram eksperimental. Model semivariogram teoretis yang biasa digunakan para ahli Geostatistika diantaranya Model Eksponensial, Model Gaussian, dan Model Spherical. Proses perhitungan untuk memperoleh model teoretis yang terbaik dengan menggunakan input nilai, *sill*, dan *range*. Nilai *sill* sama dengan nilai variansi dari data sampel, sedangkan *range* merupakan hasil *trial and error* untuk memperoleh model teoretis terbaik dengan nilai *Sum Square Error* (SSE) yang paling minimum. Berdasarkan hasil uji coba diperoleh nilai *range* sebesar 700 m yang menghasilkan model teoretis dengan SSE paling minimum yang dipilih dari ketiga model semivariogram seperti pada Gambar 7 sampai Gambar 9.



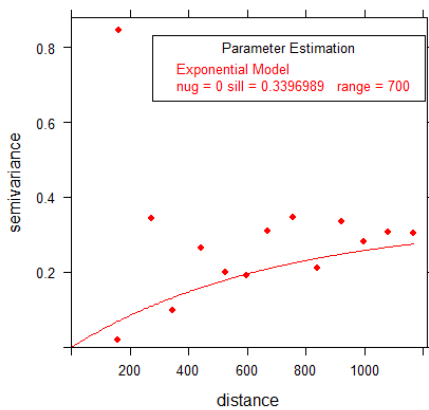
Gambar 5. Plot Sebaran Data *Fixed Carbon*



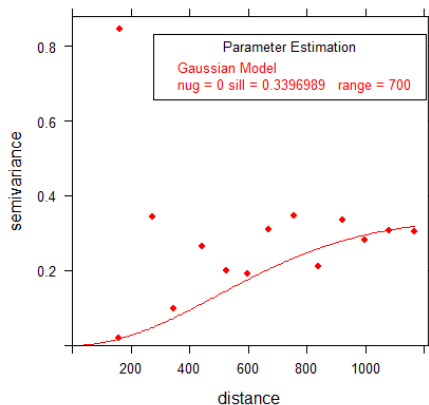
Gambar 6. Plot Semivariogram Eksperimental Data *Fixed carbon*

Tabel 3. Nilai Semivariogram Eksperimental

No	Banyaknya pasangan data yang berjarak sama	Jarak (m)	Nilai Semivariogram Eksperimental
1	1	158,0729	0,0200
2	1	162,4494	0,8450
3	6	272,6208	0,3433
4	9	346,8611	0,0972
5	14	443,0466	0,2643
6	16	523,3654	0,2003
7	15	597,9616	0,1923
8	13	667,4613	0,3092
9	11	756,7730	0,3473
10	15	838,7399	0,2117
11	12	920,6316	0,3363
12	25	997,1352	0,2820
13	18	1080,09	0,3064
14	8	1165,526	0,3050



Gambar 7. Model Eksponensial

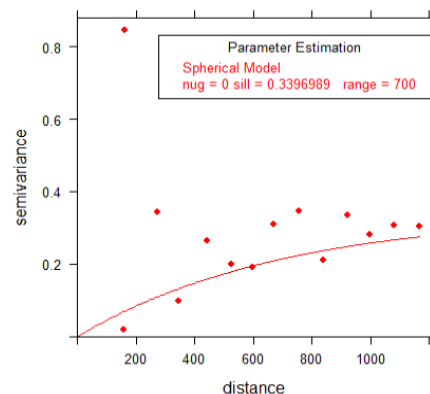


Gambar 8. Model Gaussian

Berdasarkan hasil *fitting* ketiga model semivariogram teoretis secara kasat mata dapat dilihat bahwa Model Gaussian yang paling cocok dengan plot semivariogram eksperimental. Untuk memperoleh

perhitungan yang lebih akurat dihitung SSE dari ketiga model tersebut pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa dari ketiga model semivariogram teoretis yang memiliki SSE paling minimum adalah Model Gaussian sama seperti hasil *fitting* berdasarkan grafik, sehingga dapat disimpulkan bahwa parameter model semivariogram terbaik digunakan sebagai input pada perhitungan estimasi dengan Metoda *Ordinary Kriging* adalah parameter *sill* dan *range* Model Gaussian; sedangkan untuk 120 posisi lokasi tidak tersampel berikut koordinatnya diperoleh hasil seperti yang disajikan pada Tabel 5.



Gambar 9. Model Spherical

Tabel 4. SSE Model Semivariogram Teoretis

SSE		
Eksponensial	Gaussian	Spherical
0,00033	0,000160	0,000191

Tabel 5. Estimasi di Lokasi Tidak Tersampel

Lokasi	Koordinat	Estimasi (%)
1	(349425, 9579763)	43,00135
2	(349426, 9579764)	43,00086
3	(350063, 9578921)	43,06954
4	(350065, 9579123)	43,01693
5	(349212, 9578992)	43,25032
6	(349213, 9578993)	43,24983
7	(349635, 9578920)	43,17007
8	(349637, 9578922)	43,16908
9	(349468, 9579543)	43,04818
10	(349469, 9579544)	43,04769
11	(349117, 9578757)	43,33318
12	(349119, 9578759)	43,3322
13	(349530, 9579917)	42,93701
14	(349531, 9579918)	42,93651
15	(348662, 9578787)	43,43144
16	(348664, 9578789)	43,43046
17	(347899, 9579850)	43,33362
18	(347900, 9579851)	43,33313
19	(348052, 9579044)	43,50669
20	(348054, 9579046)	43,50571
21	(348738, 9579978)	43,10585
22	(348739, 9579979)	43,10535
23	(347644, 9579011)	43,60968
24	(347646, 9579013)	43,6087
25	(348216, 9579113)	43,45083
26	(348217, 9579114)	43,45033
27	(347088, 9578861)	43,77682
28	(347090, 9578863)	43,77585
29	(347277, 9579502)	43,56741
30	(347278, 9579503)	43,56692
31	(346588, 9579010)	43,85333
32	(346590, 9579012)	43,85235
33	(345591, 9579511)	43,95189
34	(345592, 9579512)	43,9514
35	(346197, 9579234)	43,88506
36	(346199, 9579236)	43,88408
37	(346666, 9579995)	43,58035
38	(346667, 9579996)	43,57986
39	(345624, 9579355)	43,98478
40	(345626, 9579357)	43,9838
41	(349061, 9578790)	43,33772
42	(349062, 9578791)	43,33723
43	(345268, 9579833)	43,94205
44	(345271, 9579835)	43,94085
45	(346262, 9579964)	43,68106
46	(346263, 9579965)	43,68057
47	(345753, 9579688)	43,86903
48	(345755, 9579690)	43,86806
49	(348799, 9579707)	43,16176
50	(348810, 9579708)	43,15895

Lokasi	Koordinat	Estimasi (%)
51	(346160, 9580039)	43,68498
52	(346162, 9580041)	43,684
53	(345554, 9579865)	43,86858
54	(345555, 9579866)	43,86809
55	(346501, 9579443)	43,76123
56	(346502, 9579444)	43,76074
57	(349323, 9579534)	43,08437
58	(349324, 9579535)	43,08388
59	(346673, 9579825)	43,62279
60	(346675, 9579827)	43,62181
61	(345511, 9579481)	43,97792
62	(345512, 9579482)	43,97743
63	(347142, 9579856)	43,50686
64	(347144, 9579858)	43,50588
65	(347177, 9579459)	43,60159
66	(347178, 9579460)	43,6011
67	(347088, 9579343)	43,65212
68	(347090, 9579345)	43,65115
69	(348957, 9579639)	43,14257
70	(348958, 9579640)	43,14207
71	(347661, 9579896)	43,37675
72	(347663, 9579898)	43,37577
73	(348276, 9579502)	43,33631
74	(348277, 9579503)	43,33582
75	(348236, 9579871)	43,25011
76	(348238, 9579873)	43,24913
77	(349780, 9578997)	43,11625
78	(349781, 9578998)	43,11575
79	(348646, 9579723)	43,19321
80	(348648, 9579724)	43,19249
81	(350056, 9579631)	42,88784
82	(350057, 9579632)	42,88734
83	(348638, 9579202)	43,32979
84	(348640, 9579203)	43,32907
85	(345737, 9579927)	43,81073
86	(345738, 9579928)	43,81025
87	(349229, 9579673)	43,07037
88	(349231, 9579675)	43,06939
89	(346541, 9578912)	43,88948
90	(346542, 9578913)	43,88899
91	(349287, 9579326)	43,14653
92	(349289, 9579328)	43,14554
93	(346901, 9579824)	43,57063
94	(346902, 9579825)	43,57014
95	(349647, 9579582)	42,99626
96	(349649, 9579584)	42,99527
97	(345976, 9579987)	43,74056
98	(345977, 9579988)	43,74007
99	(350175, 9579422)	42,91392
100	(350177, 9579424)	42,91293
101	(349747, 9578858)	43,15986

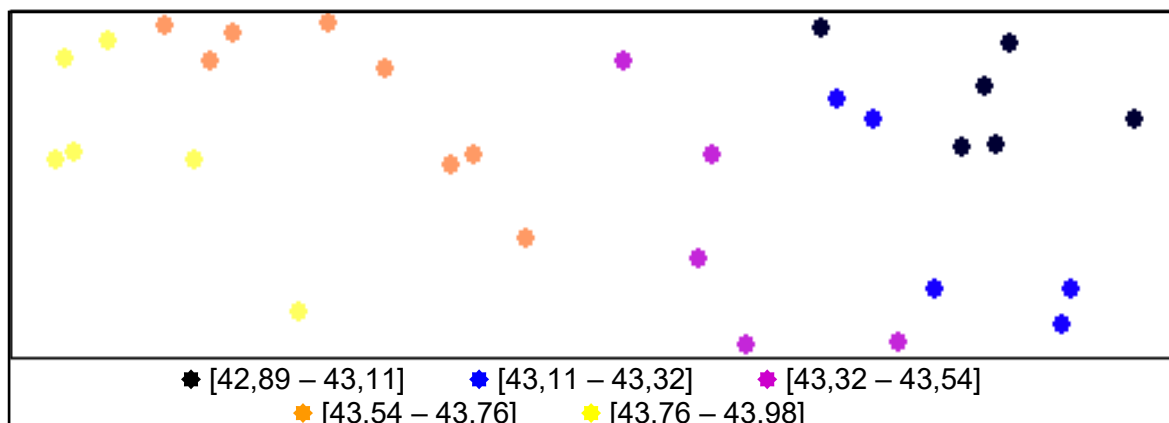
Lokasi	Koordinat	Estimasi (%)
102	(349748, 9578859)	43,15936
103	(345974, 9579394)	43,89468
104	(345975, 9579396)	43,89394
105	(347497, 9579183)	43,59917
106	(347498, 9579182)	43,5992
107	(345989, 9579856)	43,77155
108	(345991, 9579858)	43,77057
109	(346102, 9579485)	43,84182
110	(346103, 9579486)	43,84133
111	(347375, 9579780)	43,47283
112	(347377, 9579782)	43,47185
113	(348420, 9578789)	43,4872
114	(348421, 9578790)	43,4867
115	(348981, 9578846)	43,34191
116	(348983, 9578848)	43,34093
117	(346168, 9579856)	43,73058
118	(346169, 9579857)	43,73009
119	(349853, 9579415)	42,9912
120	(349855, 9579417)	42,99021

Tabel 6. Statistika Deskriptif Data Estimasi *Fixed Carbon*

Statistics Descriptive	<i>Fixed Carbon</i> (%)
Minimum	42,89
1 st Quartil	43,16
Median	43,48
Mean	43,46
3 rd Quartil	43,75
Maximum	43,98
Variansi	0,1039567
Koef. Variansi	0,00741885

Berdasarkan Tabel 5 diperoleh hasil estimasi *Fixed Carbon* pada 120 lokasi tidak tersampel dengan perhitungan menggunakan Metoda *Ordinary Point Kriging* dengan rata-rata hasil estimasi 43,46 % yang nilainya sama dengan rata-rata data sampel yang sebenarnya, yaitu di sekitar nilai 43,46%. Kualitas *Fixed Carbon* yang kurang dari 60% ini menunjukkan bahwa klasifikasi batubara di lokasi penelitian merupakan rank *Lignite*. Koefisien variasi data estimasi di 120 lokasi tidak tersampel bernilai 0,007 menunjukkan data estimasi memiliki variasi cukup kecil, sehingga estimasi di 120 lokasi tidak tersampel juga mendukung hasil penelitian bahwa variabel tersebut merupakan *Fixed Carbon*. Secara keseluruhan hasil penerapan Metoda *Ordinary Point Kriging* menggunakan

Aplikasi R, dalam perhitungan estimasi nilai variabel di lokasi tidak tersampel dapat dilakukan dengan mudah dan cepat serta memberikan hasil yang akurat. Hal ini ditunjukkan dengan rata-rata nilai estimasi mendekati rata-rata nilai sebenarnya. Hasil estimasi variabel *Fixed Carbon* tersebut selanjutnya dipetakan berupa plot dalam nilai interval yang digambarkan berupa titik-titik dalam warna yang berbeda seperti disajikan pada Gambar 10. Hasil plot menunjukkan posisi lokasi yang memiliki estimasi dari interval terendah ke interval tertinggi, semakin ke kiri nilai estimasi semakin tinggi. Estimasi *fixed carbon* tersebut dapat digunakan sebagai rekomendasi bagi pengambil kebijakan dalam eksplorasi pertambangan batubara di suatu wilayah berdasarkan kajian Geostatistika menggunakan Aplikasi R.



Gambar 10. Plot Hasil Estimasi menggunakan Metoda OK

KESIMPULAN

Estimasi *fixed carbon* sebagai variabel dalam kualitas batubara dengan Metoda *Ordinary Point Kriging* di 120 lokasi tidak tersampel memberikan nilai rata-rata mendekati rata-rata data sampel. Hal ini menunjukkan bahwa Metoda *Ordinary Point Kriging* tepat digunakan untuk mengestimasi nilai observasi di lokasi tidak tersampel secara teoritis. Hasil penerapan pada data lapangan dengan bantuan package *gstat* pada Aplikasi R memberikan perhitungan yang lebih cepat, lebih mudah dan akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rektor Universitas Padjadjaran yang telah mendanai penelitian ini melalui *Academic Leadership Grant (ALG)* dan RKDU 2018/2019 serta kepada reviewer atas masukan dan saran yang sangat berharga dalam penyempurnaan paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

Arisandy, A. A., Nugroho, W., Winaswangusti A. U. (2017). Peningkatan Kualitas Batubara *Sub Bituminous* Menggunakan Minyak Residu Di PT X Samarinda, Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, **5** (1), 1-6.

Bivand, R. S., Pebesma, E., & Rubio, V. G. (2013). *Applied Spatial Data Analysis with R Second Edition*. New York: Springer.

Cressie, N. A. (1993). *Statistics For Spatial Data*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Ertunc, G., Tercan, A. E., Hindistan, M. A., Unver, B., Unal, S., Atalay, F., & Killioglu, S. Y. (2013). Geostatistical estimation of coal quality variables by using covariance matching constrained kriging. *International of Coal Geology*, **112**, 14-22, <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2012.11.014>.

Falah, A. N., Abdullah, A. S., Parmikanti, K., & Ruchjana, B. N. (2017a). Prediction of Cadmium Pollutant With Ordinary Point Kriging Method Using GStat-R. *AIP Conference Proceedings: The 2nd International Conference on Applied Statistics (ICAS II 2016)*, **1827**, 020019 <https://doi.org/10.1063/1.4979435>.

Falah, A. N., Subartini, B., & Ruchjana, B. N. (2017b). Application of universal kriging for prediction pollutant using GStat R. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, **893**, doi :10.1088/1742-6596/893/ 1/012022, 1-7.

- Gunawan, A. A., Falah, A. N., Faruk, A., Lutero, D. S., Ruchjana, B. N., & Abdullah, A. S. (2016). Spatial Data Mining for Predicting of Unobserved Zinc Pollutant using Ordinary Point Kriging. *IEEE: International Workshop on Big Data and Information Security* 978-1-5090-3477-2/16/\$31.00 83-88.
- Hamid, N. (2017). *Distribusi Kuat Geser Batuan pada Formasi Muara Enim di Kecamatan Merapi Barat, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan Menggunakan Metoda Kriging, Disertasi, Tidak Diterbitkan*. Bandung: Aplikasi Pascasarjana Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran.
- Olea, R. A. (1999). *Geostatistics for engineers and earth scientists*. New York: Kluwer Academic Publishers.
- Ruchjana, B. N., Abdullah, A. S., & Falah, A. N. (2017). *Penerapan Aplikasi GStat Berbasis R untuk Geostatistika dengan Pendekatan Spasial Data Mining*. ISBN 602640827-4 Jatinangor: ALQAPRINT.
- Schweinfurth, S. P. (2009). *An Introduction to Coal Quality*. Virginia.
- Srivastava, R. M. (2013). Geostatistics: A toolkit for data analysis, spatial prediction and risk management in the coal industry. *International Journal of Coal Geology*, **112**, 2-13, <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2013.01.011>.
- Varberg, D., Purcell, E., & Rigdon, S. (2007). *Calculus Ninth Edition*. Pearson Education, Inc.
- Wackernagel, H. (1994). Cokriging versus kriging in regionalized multivariate data analysis. *Elsevier Science B. V.*, 83-92.
- Youkuo, C., Yongguo, Y., & Wangwen, W. (2015). Coal Seam Thickness Prediction based on Least Squares Support Vector Machines and Kriging Method. *EJGE*, **20** Bund. 1 167-176. <https://www.geologinesia.com/2016/01/tempat-dan-proses-pembentukan-batubara.html>
- <https://www.cnbcindonesia.com/news/20190624120905-4-80160/cadangan-batu-bara-ri-naik-jadi-3989-miliar-ton>

Diterima	: 19 Februari 2019
Direvisi	: 08 Juni 2019
Disetujui	: 30 Agustus 2019